

APLICACIÓN DE LA RADIACION IONIZANTE EN LA RADIOTERAPIA

Cesar Tapia
Físico Medico
Hospital de Clínicas

30 de octubre de 2015 | Sociedad

TELECANCER LOGRÓ RECAUDAR BS 573.322 PARA LA COMPRA DEL ACELERADOR LINEAL

“Se han dado los últimos detalles de la extracción bancaria hasta este viernes en la mañana. Se logró recaudar 573.322 bolivianos, un poco más de medio millón de bolivianos”, dijo el gobernador.

NO PARTICIPARÁ EN LA CAMPAÑA TELECÁNCER

El Gobierno compromete \$us 10 millones para el acelerador lineal

La ministra Campero anunció los recursos para 2016. La Telecáncer dio inicio ayer a la recaudación de aportes. El evento solidario se realizará este fin de semana.

COMPARTE:



(0) Enviar Imprimir

martes, 20 de octubre de 2015



APG. Organizadores de la campaña Telecáncer iniciaron las recaudaciones con un acto, ayer.

Verónica Zapana S. / La Paz

El Gobierno anunció que no participará en la campaña Telecáncer este fin de semana, pero prometió al menos 10 millones de dólares para la adquisición del acelerador lineal. Los pacientes piden desde hace meses ese moderno equipo para tratar el mal.

“Nosotros no estamos siendo parte activa de la Telecáncer. Sin embargo, hacemos público que el ~~servicio~~ ~~no~~ ~~siempre~~ ~~como~~ ~~que~~ ~~esta~~ radical medida se asumió debido a la indiferencia del Ministerio de Salud, el Servicio Departamental de Salud y la

GOBERNACIÓN SE COMPROMETE

Luego de cr
llegan a un

Derechos Humanos y la
reúna con los enfermos

(0) Er



Después de días en huelga de hambre, los enfermos se crucificaron ayer en la Saavedra.

LINEAL

SOCIEDAD S

Equip
pacie

La Paz E

laRa
Portada

Ingresar

GENTE MIRADAS

Actual
4°

UN POCO DE HISTORIA

- 1895, Roentgen Descubre los rayos X
- 1896, Henry Becquerel descubrió accidentalmente la existencia de unos rayos desconocidos que provenían de una sal de uranio. Posteriormente se llamo a estos rayos Radiactividad
- Poco tiempo despues los medicos observaron que los rayos X parecian destruir tanto celulas normales como neoplasicas.
- Observacion de los primeros efectos biologicos de las radiaciones ionizantes.
- El medico Leopold Freund tras haber observado que esta nueva radiación había provocado la caída del pelo de uno de sus colaboradores, trató con rayos X el nevus piloso de un niño.
- 1898 los esposos Marie y Pierre Currie descubren dos elementos radiactivos, el polonio y el radium.
- En 1899 se publico la primera curación en un paciente con epitelioma basocelular.

- En 1901, el propio Becquerel se causo una quemadura en el vientre por llevar radium en un tubo de ensayo en el bolsillo de su chaleco.
- Pierre Curie se produjo deliberadamente una reacción similar en su antebrazo. Unos días después presentó una comunicación en la Academia de Ciencias Francesas que decía:
- *"La piel comenzó a enrojecer en una superficie de seis centímetros cuadrados; la apariencia es la de una quemadura, pero la piel no me dolía o me dolía muy poco. Al cabo de cierto tiempo, el enrojecimiento, aunque sin extenderse, se hizo más intenso. Al vigésimo día se formaron costras, luego una llaga que cubrimos con vendajes. El cuadragésimo segundo día, la epidermis comenzó a regenerarse por los bordes hasta llegar al centro. Cincuenta y dos días después de la acción de los rayos queda aún en estado de llaga una superficie de un centímetro cuadrado, que adquiere un aspecto grisáceo, indicando una mortificación más profunda"* (Eric J. Hall. Radiobiology for the radiologist. J.B. Lippincott Company, 1988).
- Fue Foveau de Courmelles, que también en 1901 se produjo una quemadura por radium, quien describió las propiedades biológicas de este tipo de radiaciones como *"químicas, penetrantes y destructivas"*.
- En Estados Unidos y ciertas regiones de Europa se utilizaban los rayos X para tratar patologías dermatológicas, reumatismo, neurastenia, leucemia, cáncer de estómago, recto y mamas.

- En 1903, Alexander Graham Bell sugirió que un “pequeño fragmento de radium podría insertarse en el corazón del cáncer”, y dos años después, el Dr. Robert Abbe de Nueva York aplicó radium intrauterinamente.
- Para 1906, 12 libros y más de 80 artículos sobre radioterapia habían aparecido en la literatura médica norteamericana. En uno de ellos se mencionaban sus ventajas: 1) es indolora, 2) deja pequeñas cicatrices sin desfigurar, 3) destruye el tejido enfermo y preserva el normal, 4) alivia el dolor, 5) termina con el dolor, 6) evita el miedo a una operación.
- Para 1919 la radioterapia quedó firmemente establecida en el campo de la medicina.

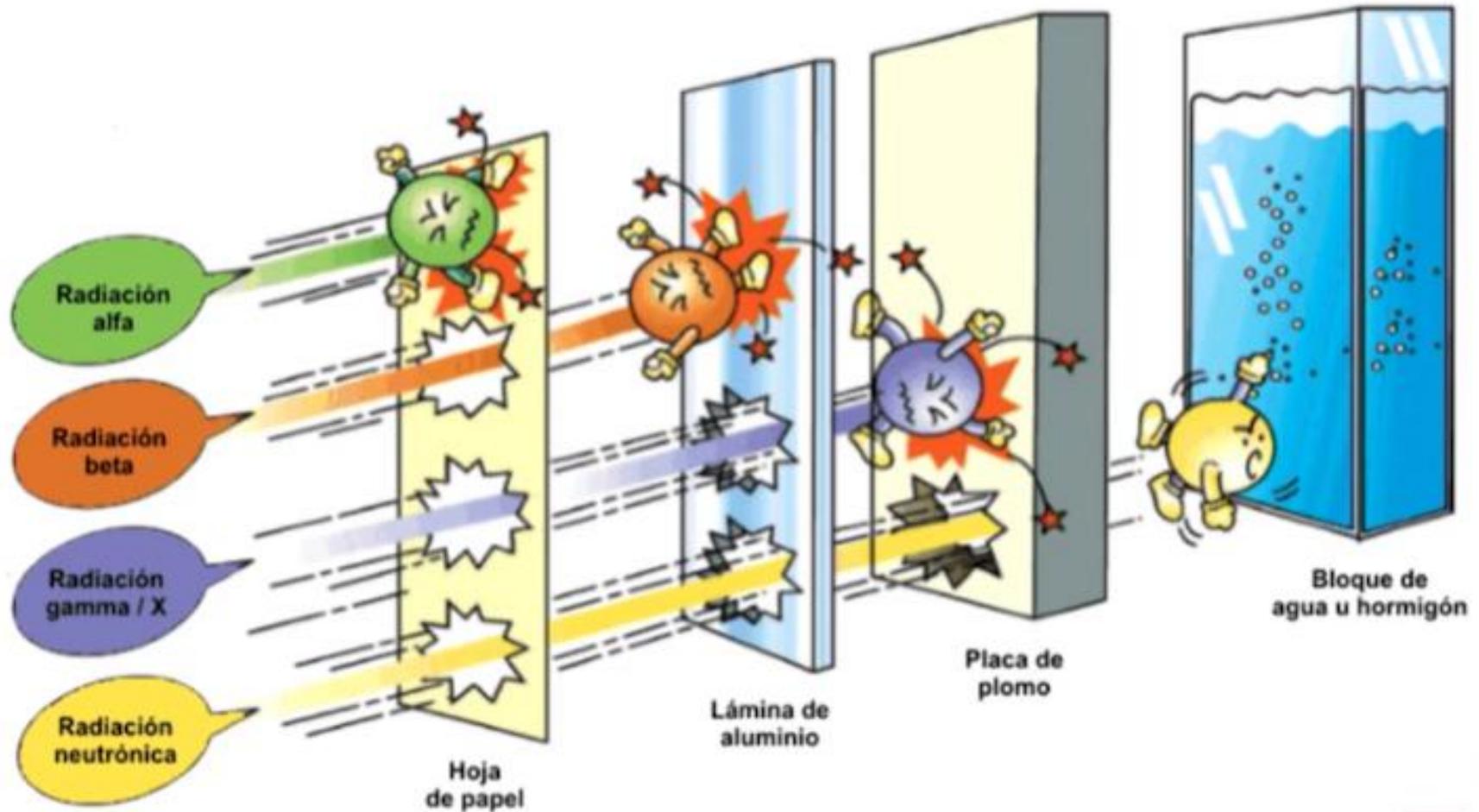
Definición de Radioterapia

- Es el empleo de las radiaciones ionizantes para el tratamiento de pacientes con patologías oncológicas y no oncológicas.

Principios Físicos de la Radioterapia

La radioterapia es una **herramienta poderosa** y a la vez **peligrosa** para el **tratamiento** de enfermedades neoplásicas si no se conoce con precisión la cantidad y distribución de la radiación administrada al paciente. Definir las cantidades físicas, las unidades en las que se mide esas cantidades y la forma en que la radiación interactúa con el medio es importante para una mejor comprensión de esta disciplina, y para lograr la precisión requerida en la misma.

Interacción de la radiación con la materia



Radiaciones Ionizantes

Son radiaciones que tienen la propiedad de producir ionización en los medios materiales que atraviesan

Ionización: es el resultado de la expulsión de un electrón fuera de la estructura atómica o molecular a la que pertenece. Y puede ser:

DIRECTA O INDIRECTAMENTE IONIZANTE

INTERACCIÓN DE UN HAZ DE FOTONES CON EL MEDIO

RADIACIÓN INDIRECTAMENTE IONIZANTE

Efecto fotoeléctrico

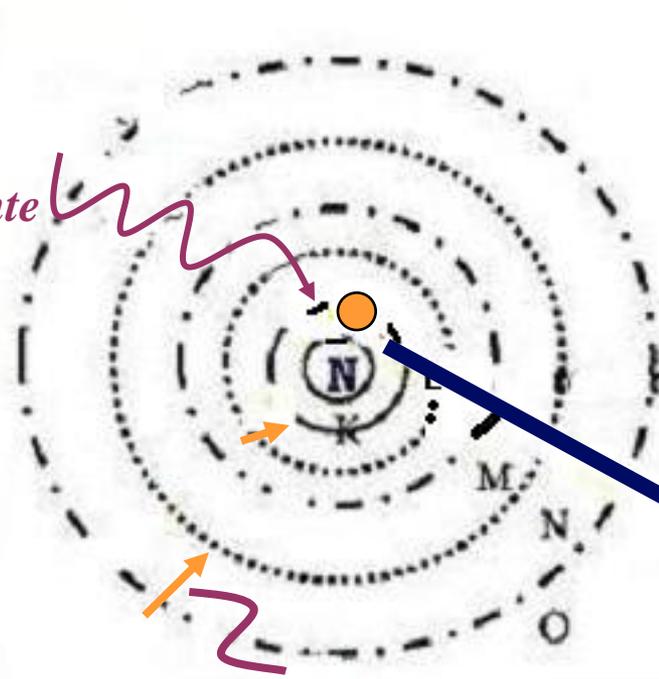
Formación de pares

Efecto Compton

EFEECTO FOTOELÉCTRICO

átomo
ionizado

fotón
incidente



fotoelectrón

$$E_{\text{cinét}}(e^-) = \epsilon_{\text{inc}} - \epsilon_{\text{ligadura}}$$

radiación
característic
a

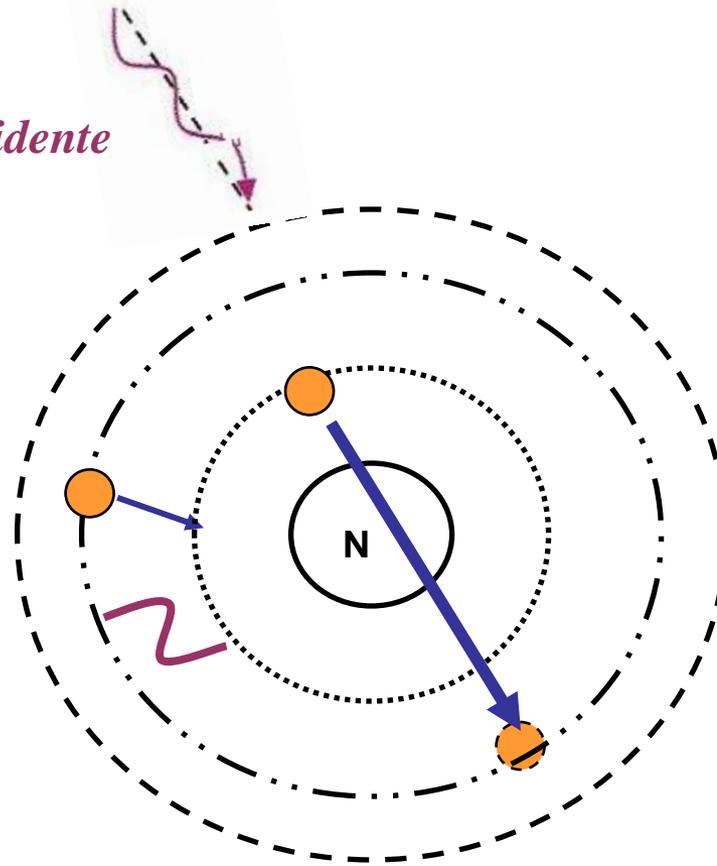
● electrón en capa
K

Para tejido blando ϵ_{lig}
es despreciable

EFECTO FOTOELÉCTRICO

fotón incidente

**átomo
excitado**



El efecto fotoeléctrico está siempre acompañado de radiación X característica, con valores definidos para cada valor de Z

EFEECTO COMPTON

fotón incidente

$$E_{\text{cinét}}(e^-) = \epsilon_{\text{inc}} - \epsilon_{\text{fotón dispersado}}$$

fotón dispersado

electrón

e^- se lleva casi toda la energía

γ se lleva casi toda la energía

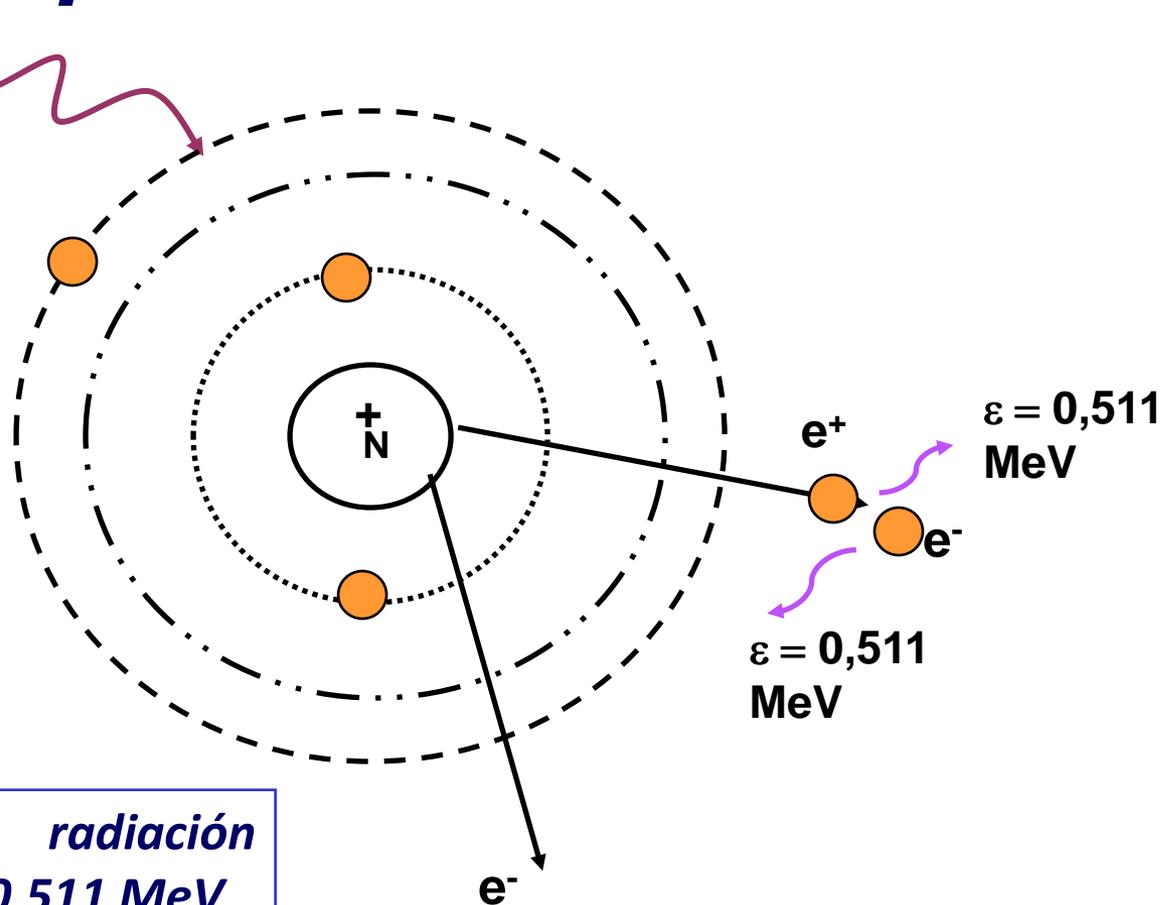
radiación secundaria de energía variable

$\epsilon_{\text{incid}} \uparrow$

$\epsilon_{\text{incid}} \downarrow$

PRODUCCIÓN DE PARES *electrón-positrón*

fotón incidente
con $e \geq 1,02$
MeV



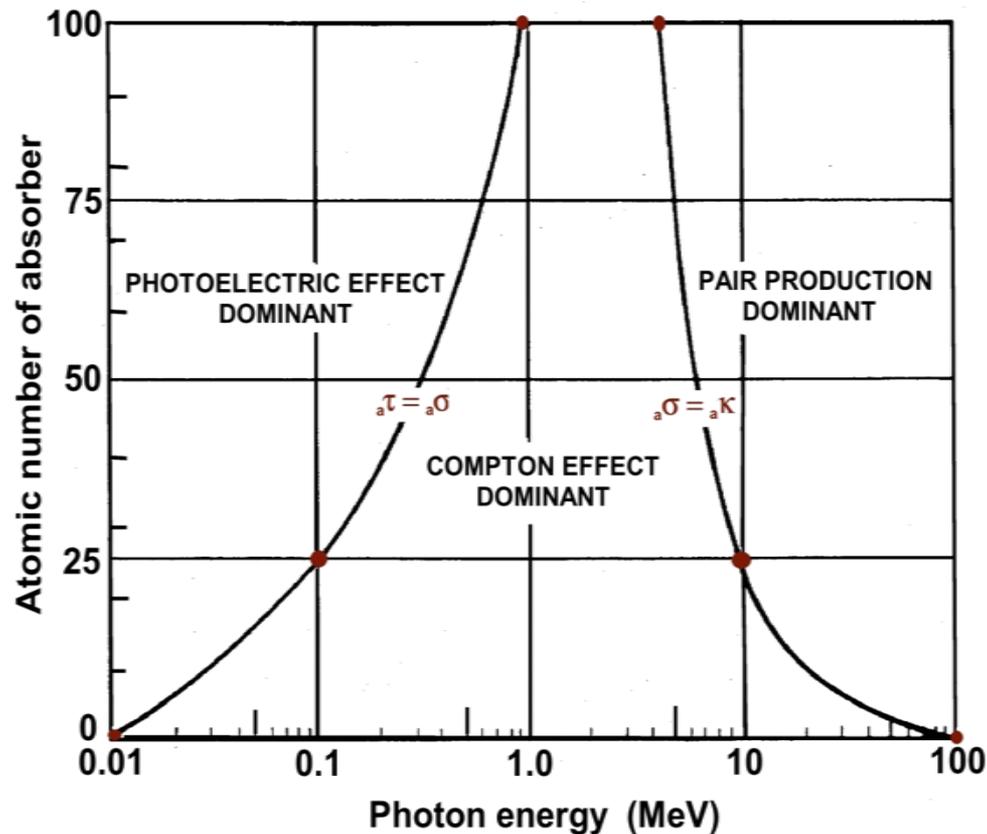
SIEMPRE radiación
secundaria de 0,511 MeV

$$E_{\text{cinét}}(e^-) = \epsilon_{\text{inc}} - E_{\text{positrón}} - 1,02 \text{ MeV}$$

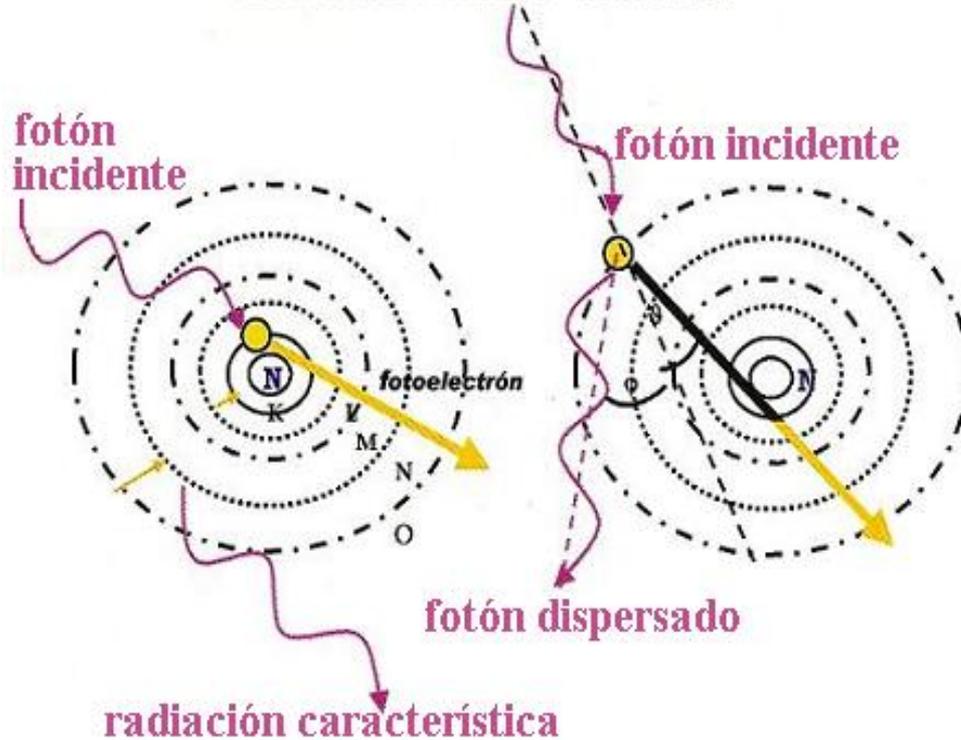
Dependencia de los efectos

	Dependencia con Z	Depende con E	Observaciones	Rango de energía en el que es importante en tejido biológico.
Efecto Foteléctrico	Z^{3-5}	E^3	Seguida de emisión de R-X característicos o e Auger	0 KeV-90 KeV
Efecto Compton	Z	E^{-1}	Cuando la dispersión es coherente se denomina dispersión Thompson	60 KeV-10 MeV
Producción de pares	Z^2		Precisa de un umbral energético de 1.022 MeV	5 Mev-100 MeV

PROBABILIDAD DE INTERACCIÓN dependencia con el medio y la energía



Interacción con e⁻ orbitales



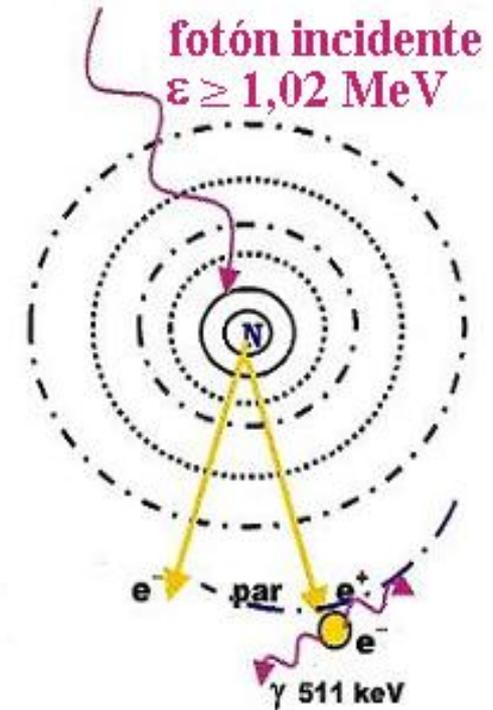
Efecto fotoeléctrico

Predomina p/ $\epsilon < 50$ keV hueso absorbe ≈ 6 veces más que tejido blando

Efecto Compton

Predomina para 200 keV $<\epsilon < 2$ MeV; hueso y tejido blando absorben \approx la misma cantidad de energía

Interacción con N



Producción de pares

Predomina para 50 MeV $<\epsilon < 100$ MeV; hueso absorbe ≈ 2 veces lo que absorbe tejido blando

RADIACIÓN DIRECTAMENTE IONIZANTE

ELECTRONES ►► PARTÍCULAS CARGADAS

INTERACCIONES COULOMBIANAS



- *pierden energía cinética (por colisión o radiación)*
- *cambian de dirección (desviación → scattering)*

¿Cómo es la colisión atómica?

*Elástica:
desvío sin
pérdida de EC*

*Inélastica con e^- :
desvío y
pérdida de EC*

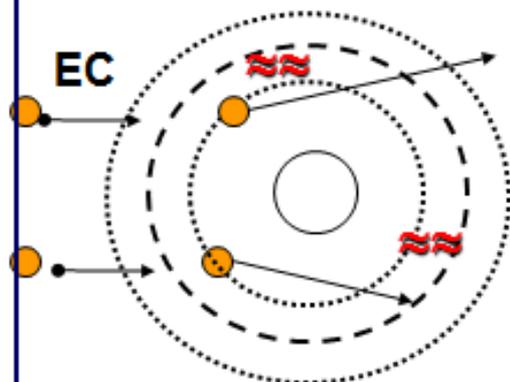
*Inélastica con N^+ :
desvío, pérdida y radiación
de frenado (bremsstrahlung)*

PROCESOS DE INTERACCIÓN DE ELECTRONES CON EL MEDIO

● electrón ○ núcleo

EC = energía cinética del e⁻

Interacción con e⁻ orbitales

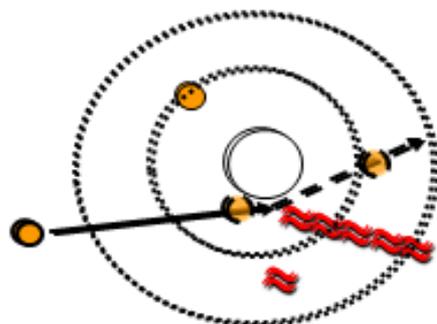


IONIZACIÓN

≈≈ RX característico

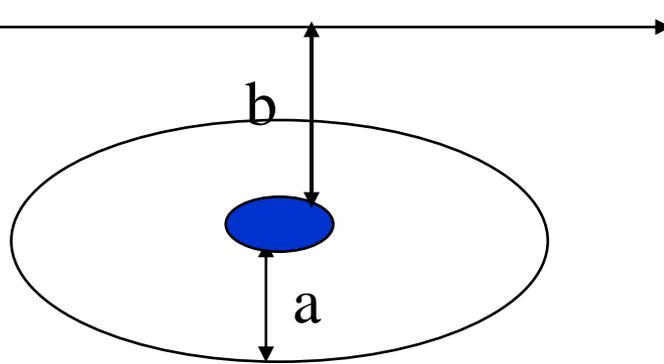
EXCITACIÓN

Interacción con el núcleo



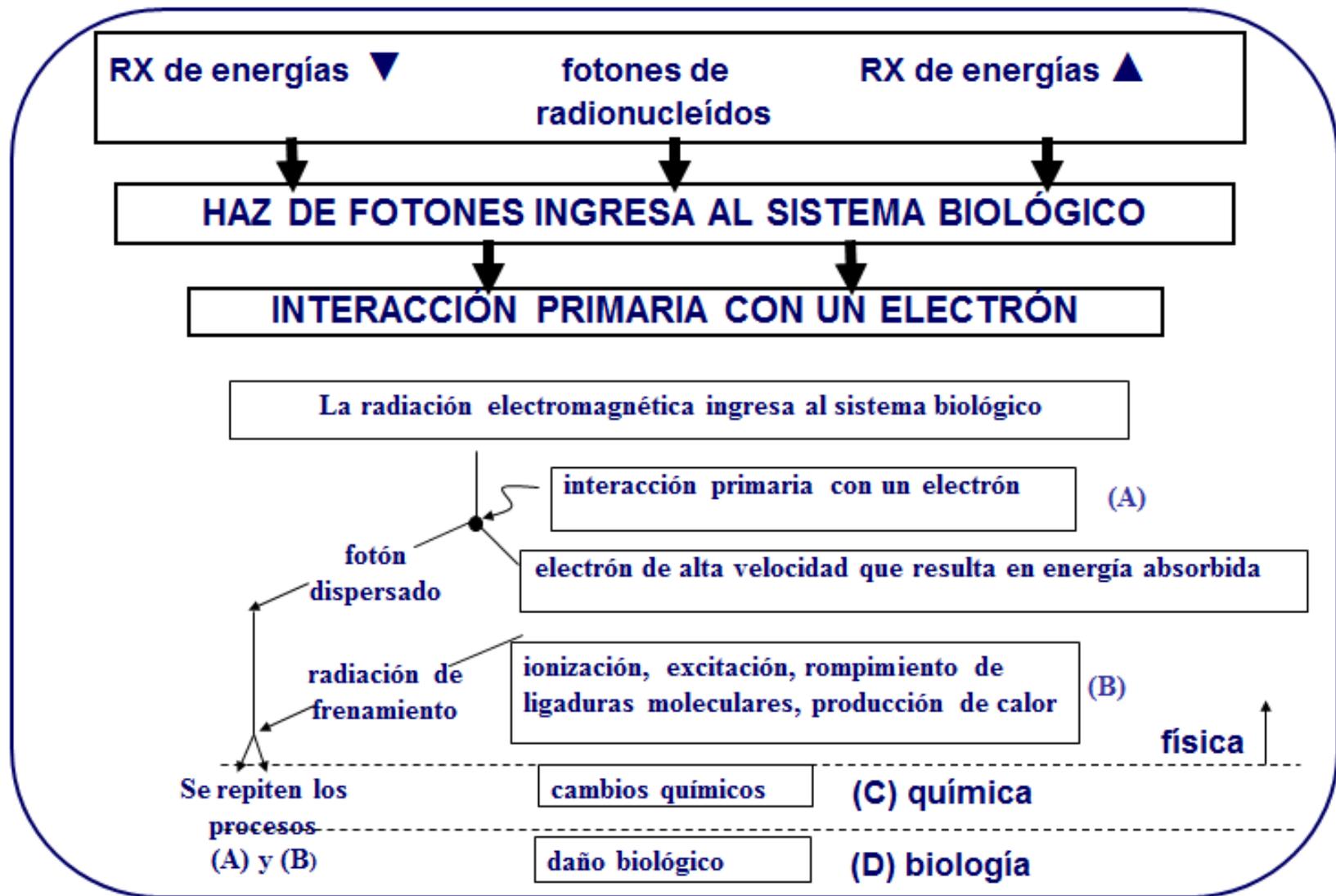
≈≈ RX continuo

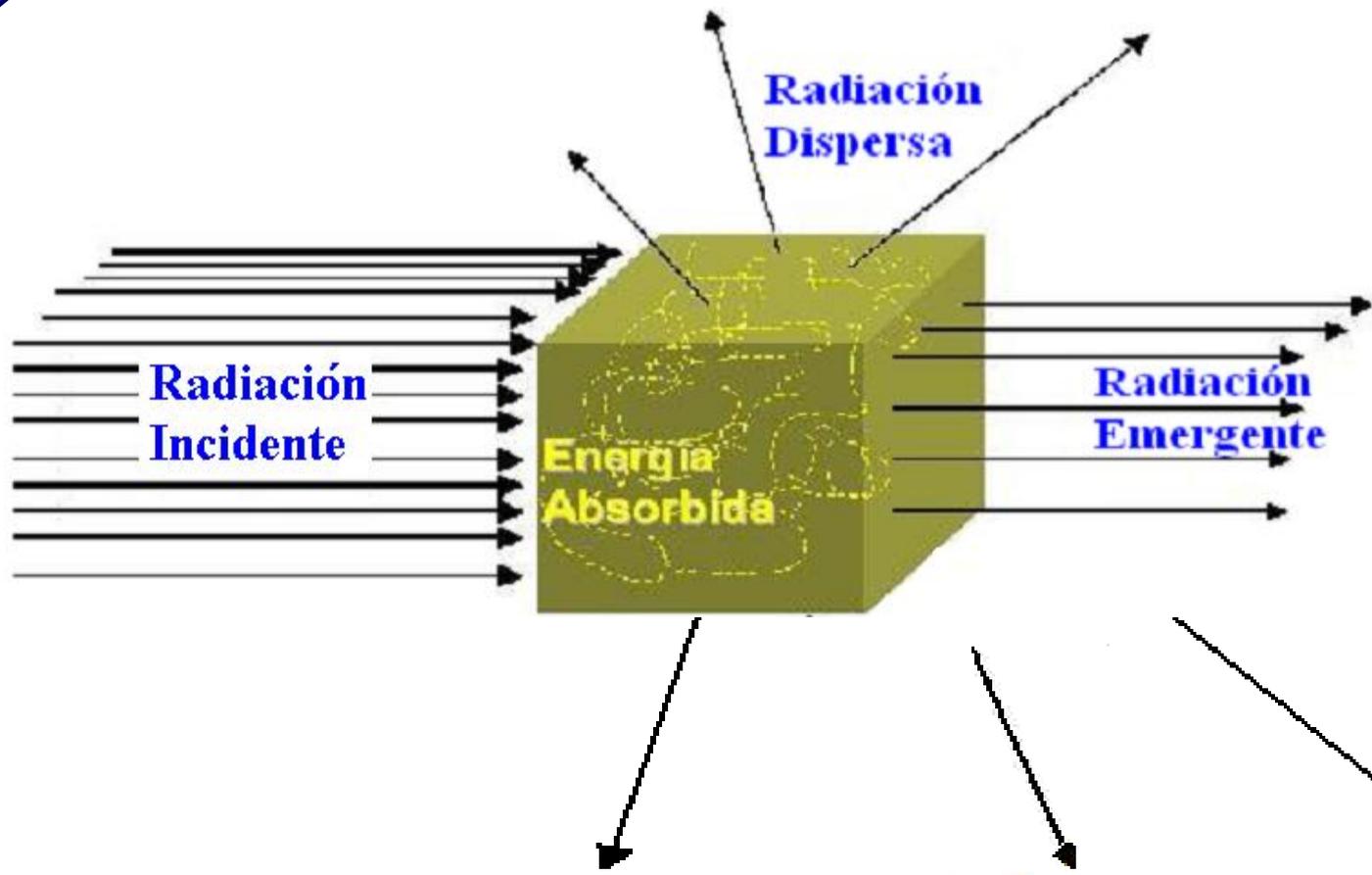
**RADIACIÓN DE FRENAMIENTO
(BREMSSTRAHLUNG)**



***¿cuánta EC pierden?
parámetro de impacto,
poder de frenado***

- ☺ Si $b \gg a$ (lejos) \Rightarrow interacción “suave” pierde poca energía
- ☹ Si $b \approx a$ \Rightarrow interacción importante, pierde hasta el 50 % de su energía
- ☹ Si $b \ll a$ \Rightarrow interacción con el núcleo y pierde energía por radiación, entre 0 y EC





$$\text{Energía Incidente} = \text{Energía Absorbida} + \text{Energía dispersa} + \text{Energía emergente}$$

Quantificación de efectos radiantes ► DOSIMETRÍA

TRANSFERENCIA DE ENERGÍA DEL HAZ DE FOTONES AL MEDIO EN 2 ETAPAS

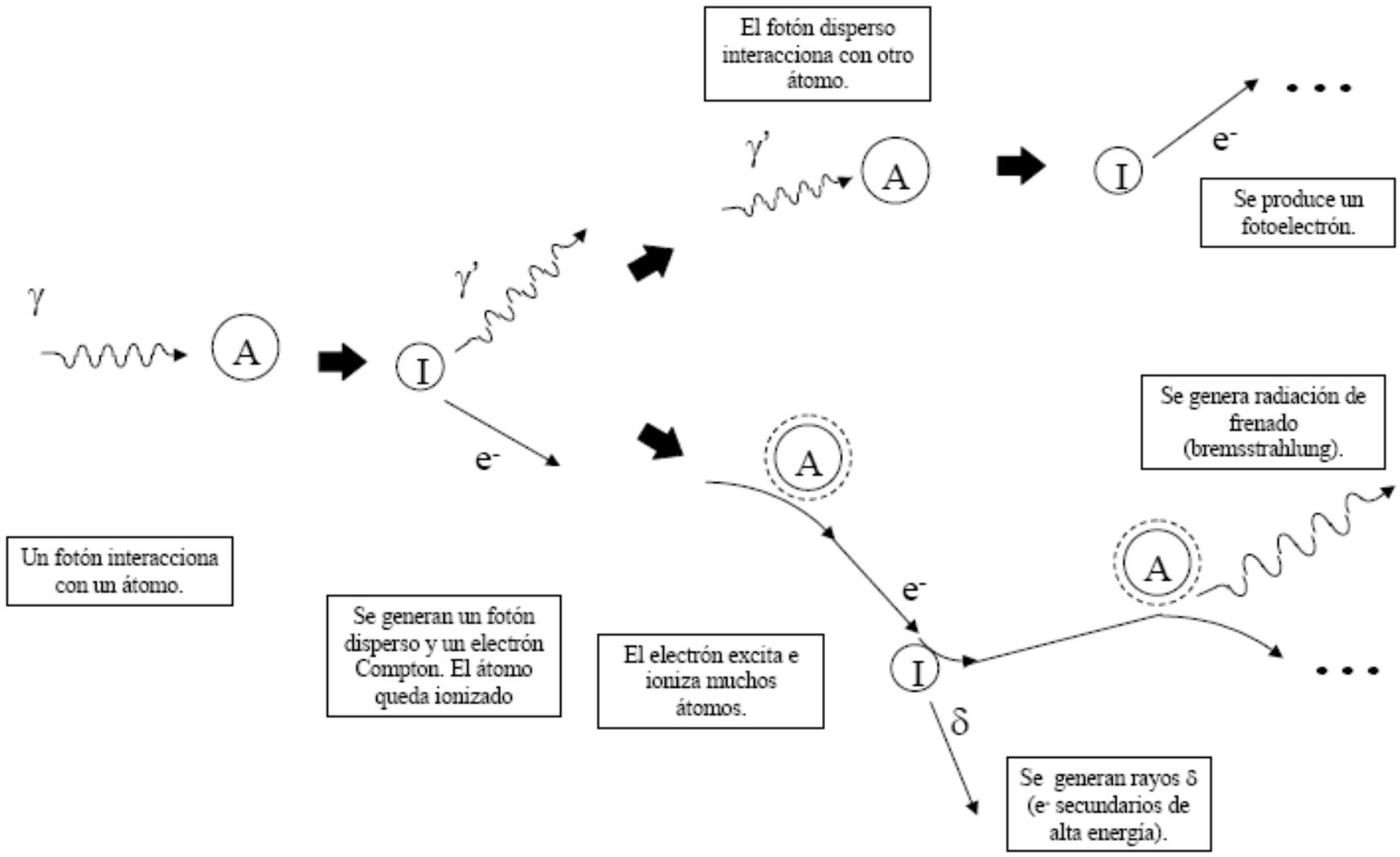


El fotón incidente transfiere energía 

- ▶ se absorbe energía a lo largo de la trayectoria **Y**
- ▶ parte se emite por **RX** de frenamiento

$$\diamond \epsilon_{\text{transf}} = \epsilon_{\text{inc}} - \epsilon_{\text{dispers}}$$

$$\diamond \epsilon_{\text{abs}} = \epsilon_{\text{transf}} - \text{RX frenamiento}$$



Un fotón interacta con un átomo.

Se generan un fotón disperso y un electrón Compton. El átomo queda ionizado

El fotón disperso interacta con otro átomo.

El electrón excita e ioniza muchos átomos.

Se produce un fotoelectrón.

Se genera radiación de frenado (bremsstrahlung).

Se generan rayos δ (e^- secundarios de alta energía).

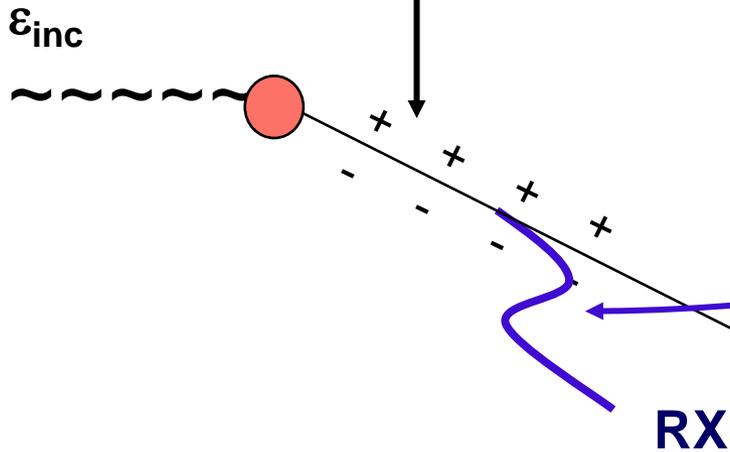
Energía transferida y energía absorbida en función de la energía de fotones incidentes

Energía del fotón ϵ_{inc} (MeV)	Energía media transferida ϵ_{transf} (MeV)	Energía media absorbida ϵ_{abs} (MeV)
0.01	0.00865	0.00865
0.10	0.0141	0.0141
1.0	0.440	0.440
10.0	7.30	7.04
100.0	95.63	71.90


**probabilidad
de RX de
frenamiento**

**Medio: tejido
acuoso**

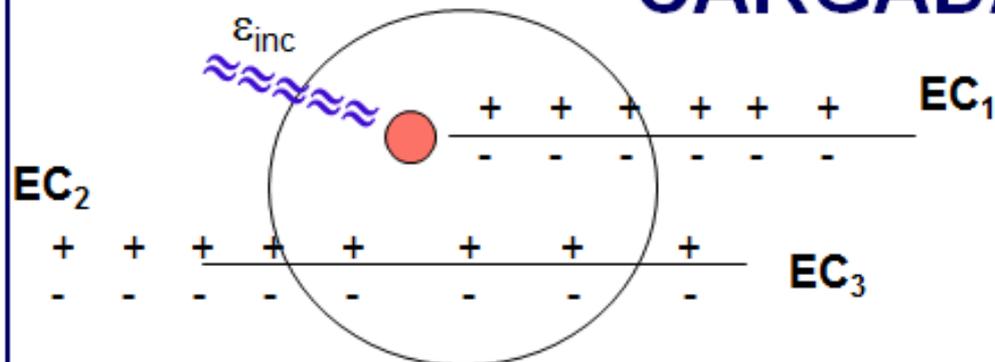
$$K_{\text{total}} = K_{\text{col}} + K_{\text{rad}}$$



La fracción de energía que se pierde por radiación de frenamiento está representada por un factor denominado fracción radiativa (g) ▼

$$K_{\text{col}} = K_{\text{total}} (1 - g)$$

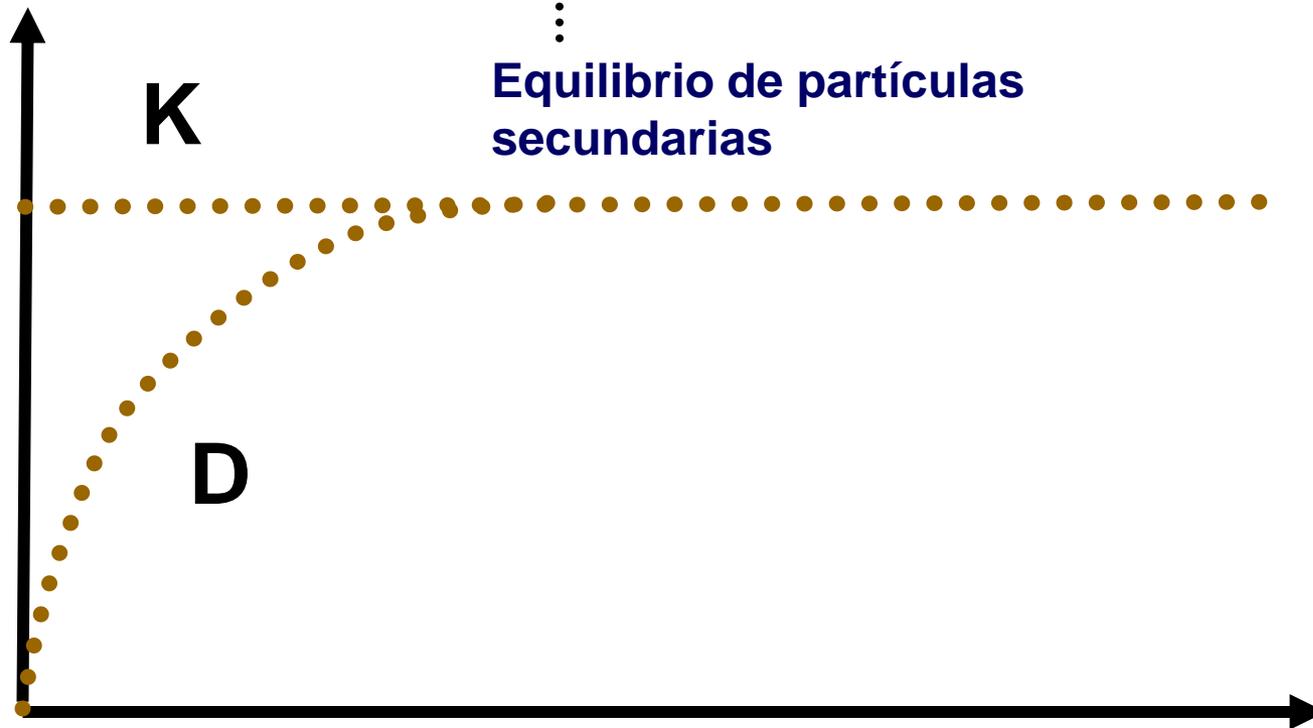
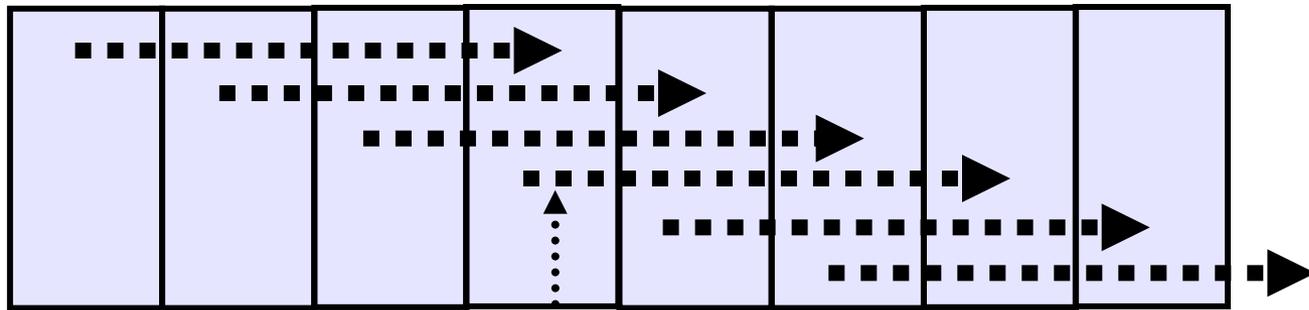
EQUILIBRIO DE PARTÍCULAS CARGADAS



SI $EC_2 = EC_1 + EC_3$ ► **EQUILIBRIO ELECTRÓNICO**

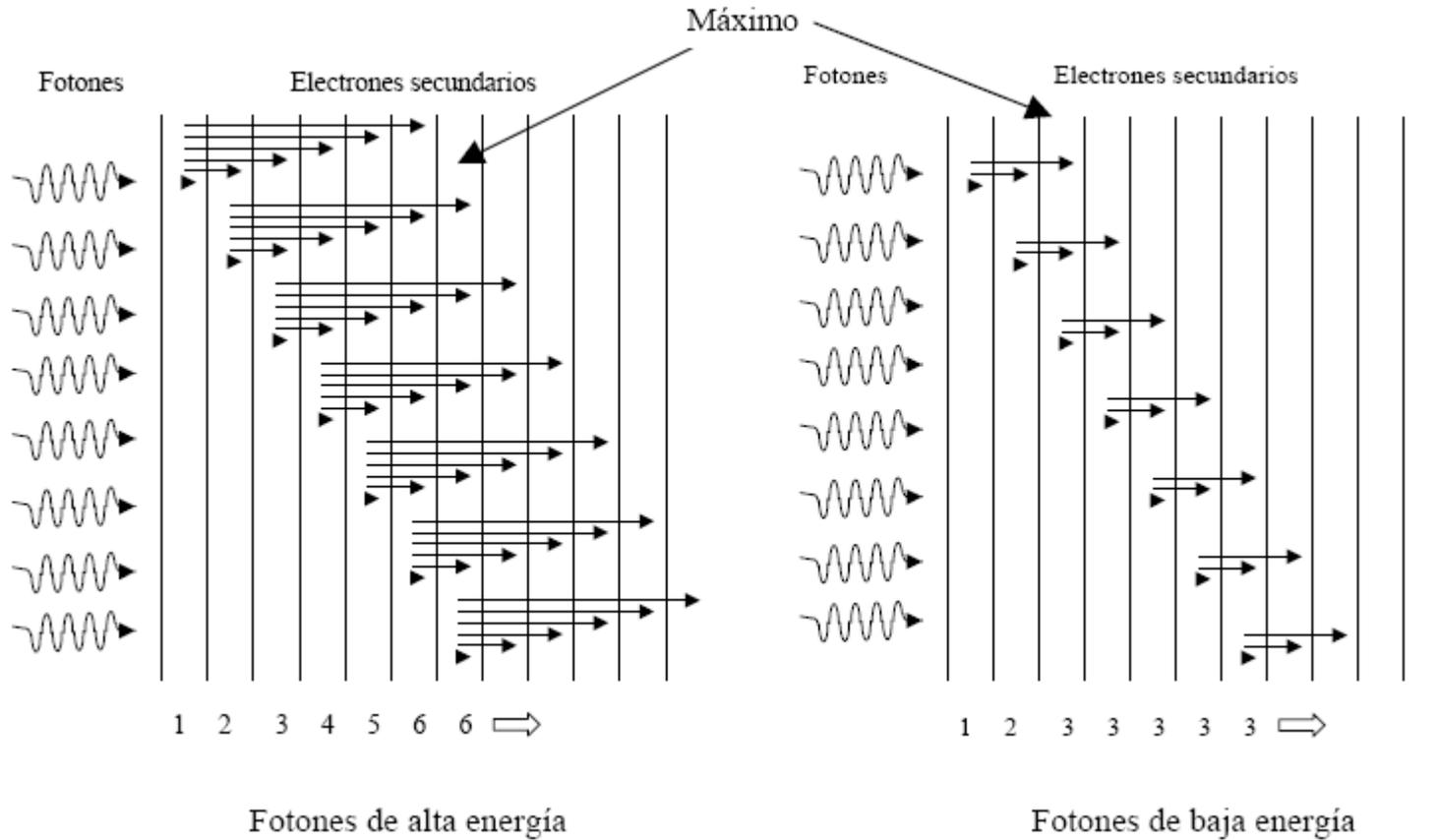
¿DÓNDE **NO** HAY EQ. ELECTRÓNICO?

- *cerca de la superficie de separación medio-aire*
- *cerca del borde del haz (eq. electrónico lateral)*



Haz sin atenuación en función de la profundidad

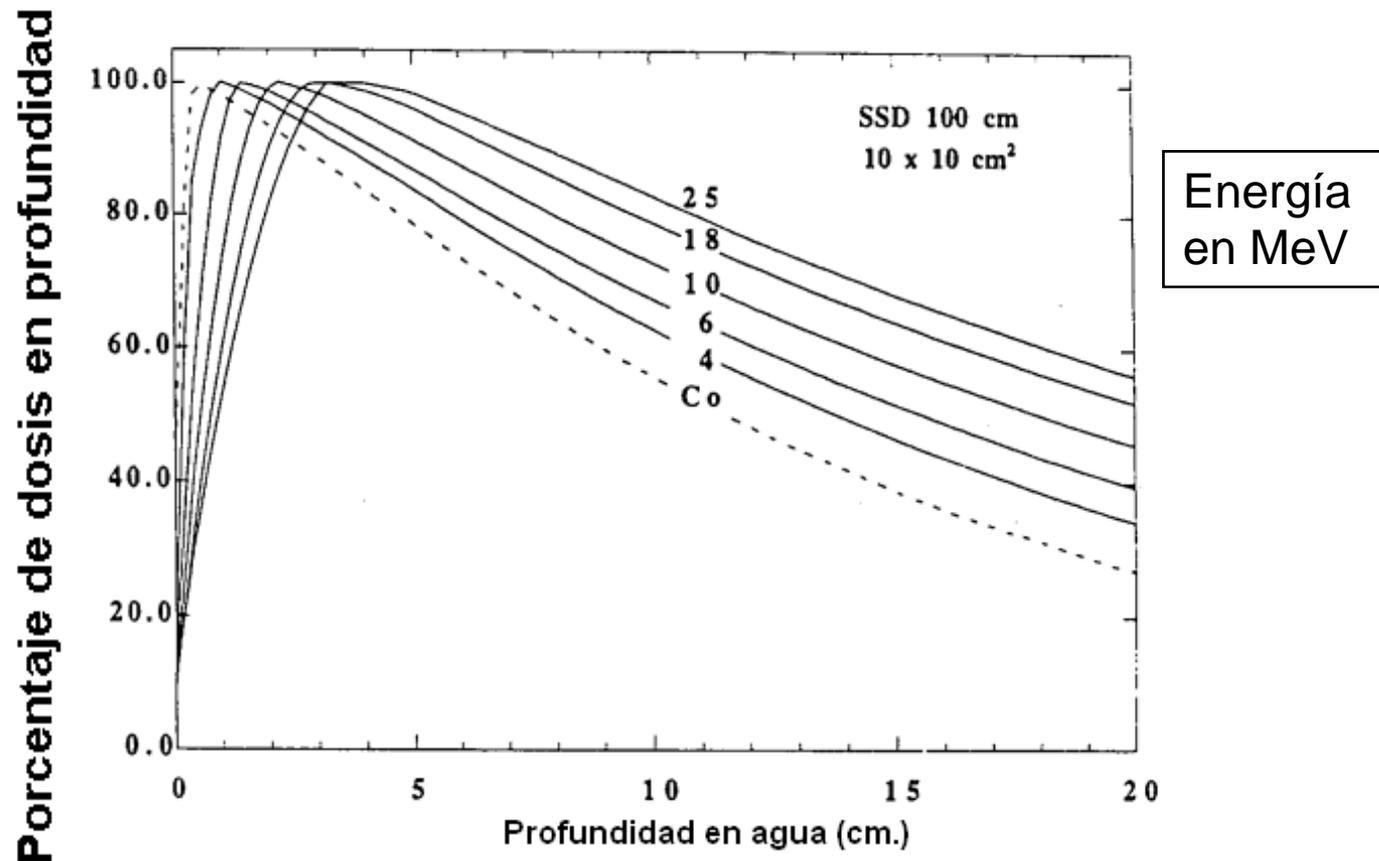
z



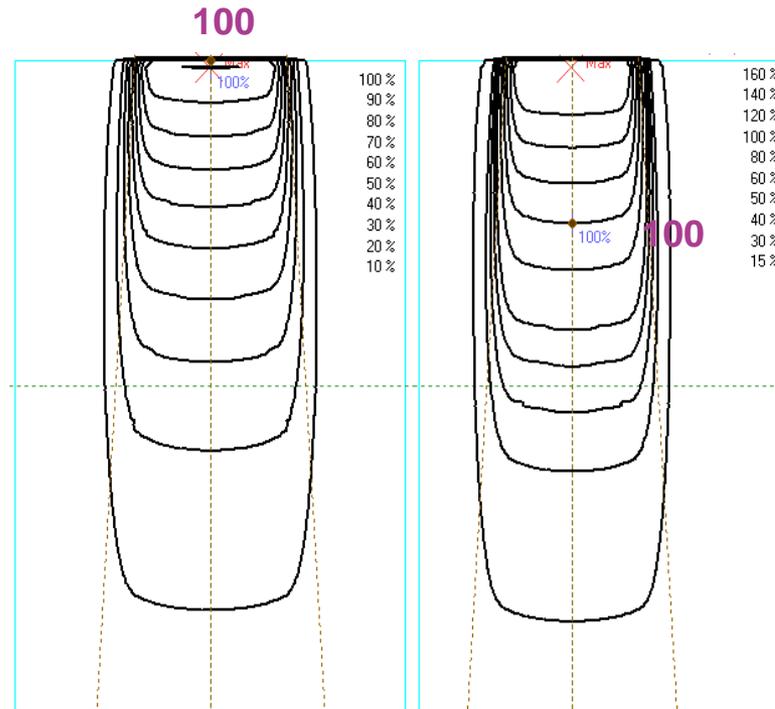
El equilibrio electrónico se alcanza a la profundidad en la cual el número de electrones que se frenan y ceden toda su energía es igual al número de electrones que se generan.

PDD para haces de fotones, dependencia con la energía y la profundidad

La profundidad para la cual se alcanza el eq. electr. ($Z_{m\acute{a}x}$) es el alcance máximo de los e^- más energéticos, el cual aumenta con la energía



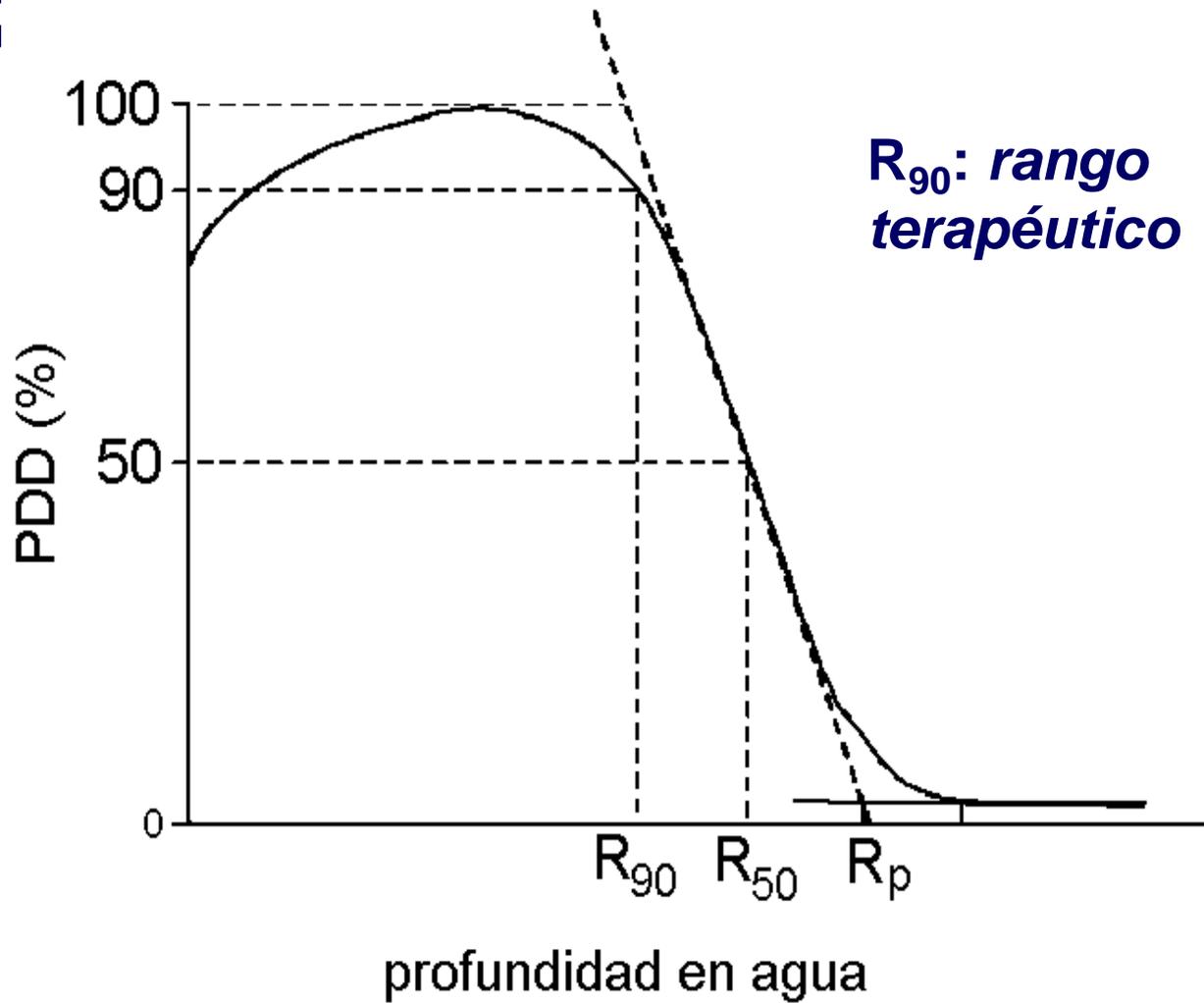
CURVAS DE ISODOSIS PARA HACES DE FOTONES DE Co-60



a) DFS = 80 cm
Campo 10 cm x 10
cm en superficie

b) Isocentro a 100
cm
Campo 10 cm x 10
cm en isocentro

PDD PARA HACES DE ELEC



CURVAS DE ISODOSIS PARA HACES DE ELECTRONES DE 8 MeV

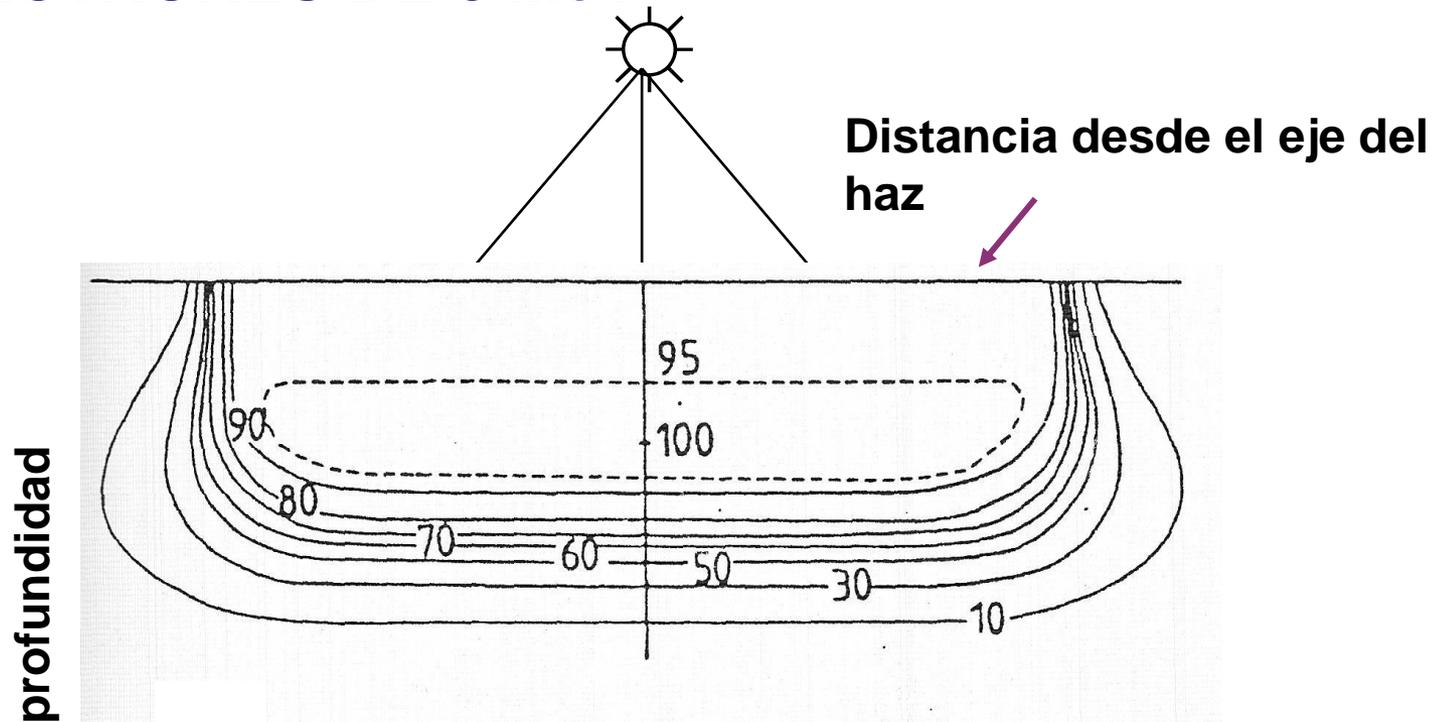
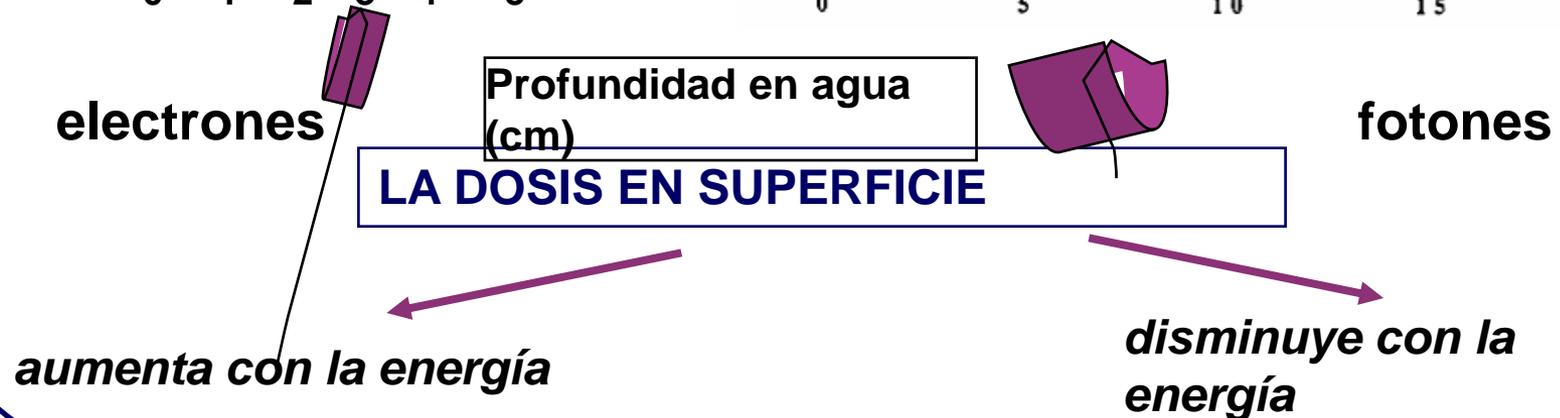
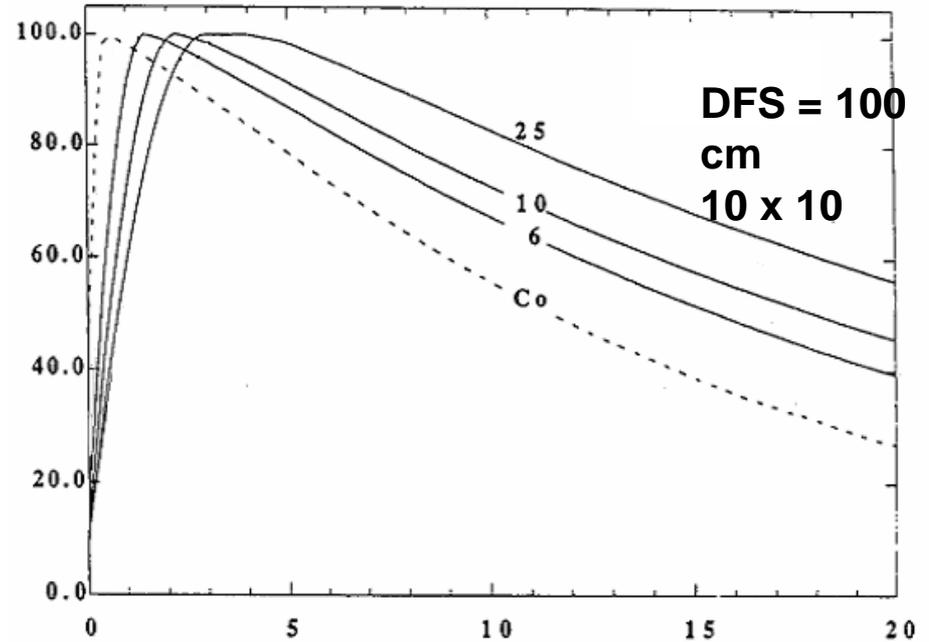
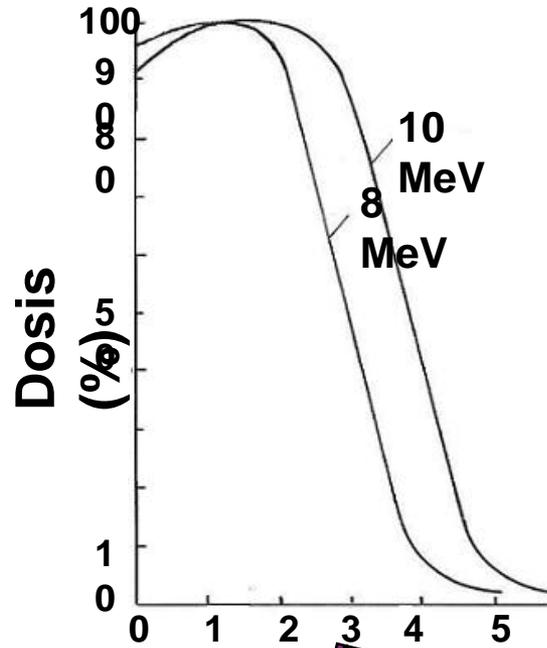


Fig. 5 Curvas de isodosis para electrones de 8 Mev. campo de $10 \times 10 \text{ cm}^2$

La forma de hongo para las curvas de valores $\sim < 20\%$ se debe a la rápida dispersión de los electrones al disminuir la energía

PDD: HACES DE ELECTRONES Y FOTONES



El análisis de la distribución de dosis en profundidad y en planos transversales al eje del haz, así como la inclusión de tejidos de distinta densidad, son la base del estudio de la planificación y cálculo de tratamientos radiantes simples y complejos

FLUJO DE TRABAJO

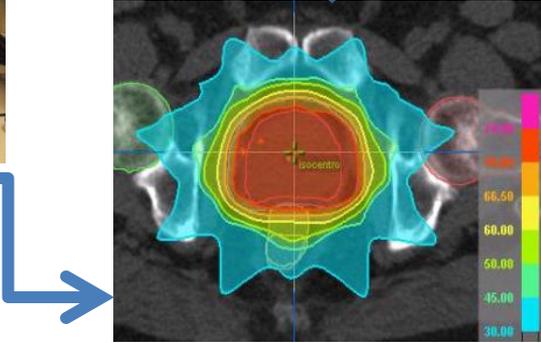
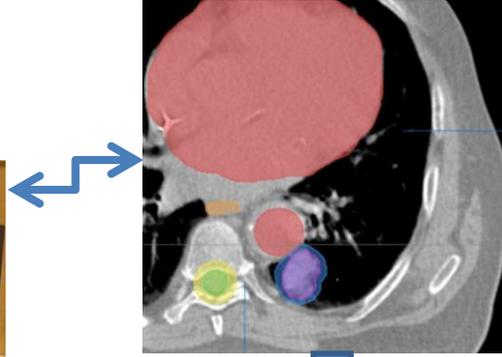
Contorneo PTV y OR

TPS

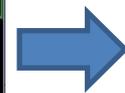
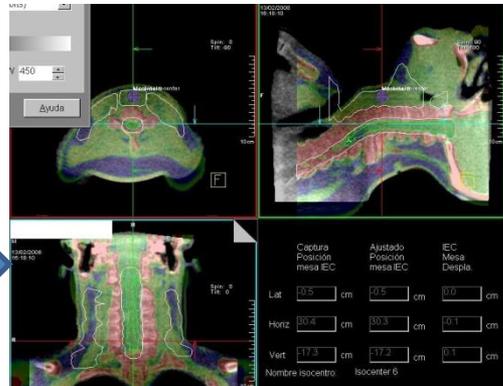
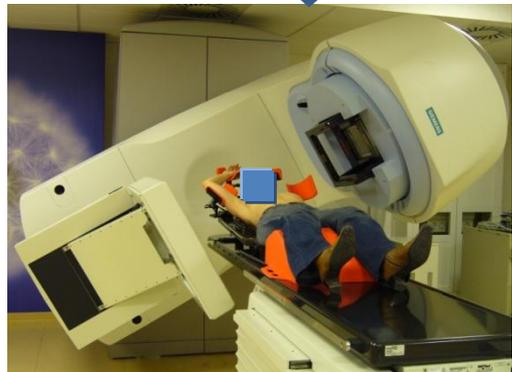


Inmovilización y TC

SISTEMA REGISTRO VERIFICACION



Dosimetría clínica



2010 - 2011

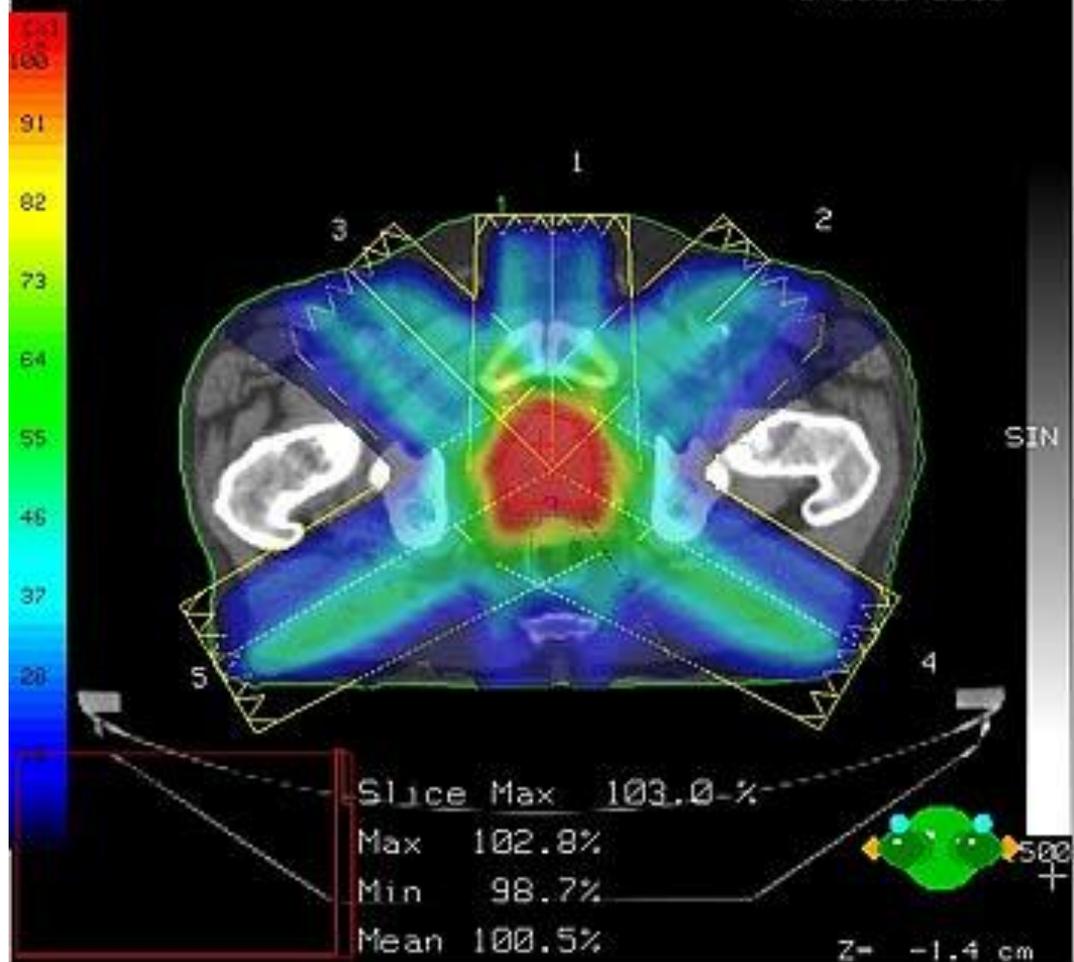
Tratamiento

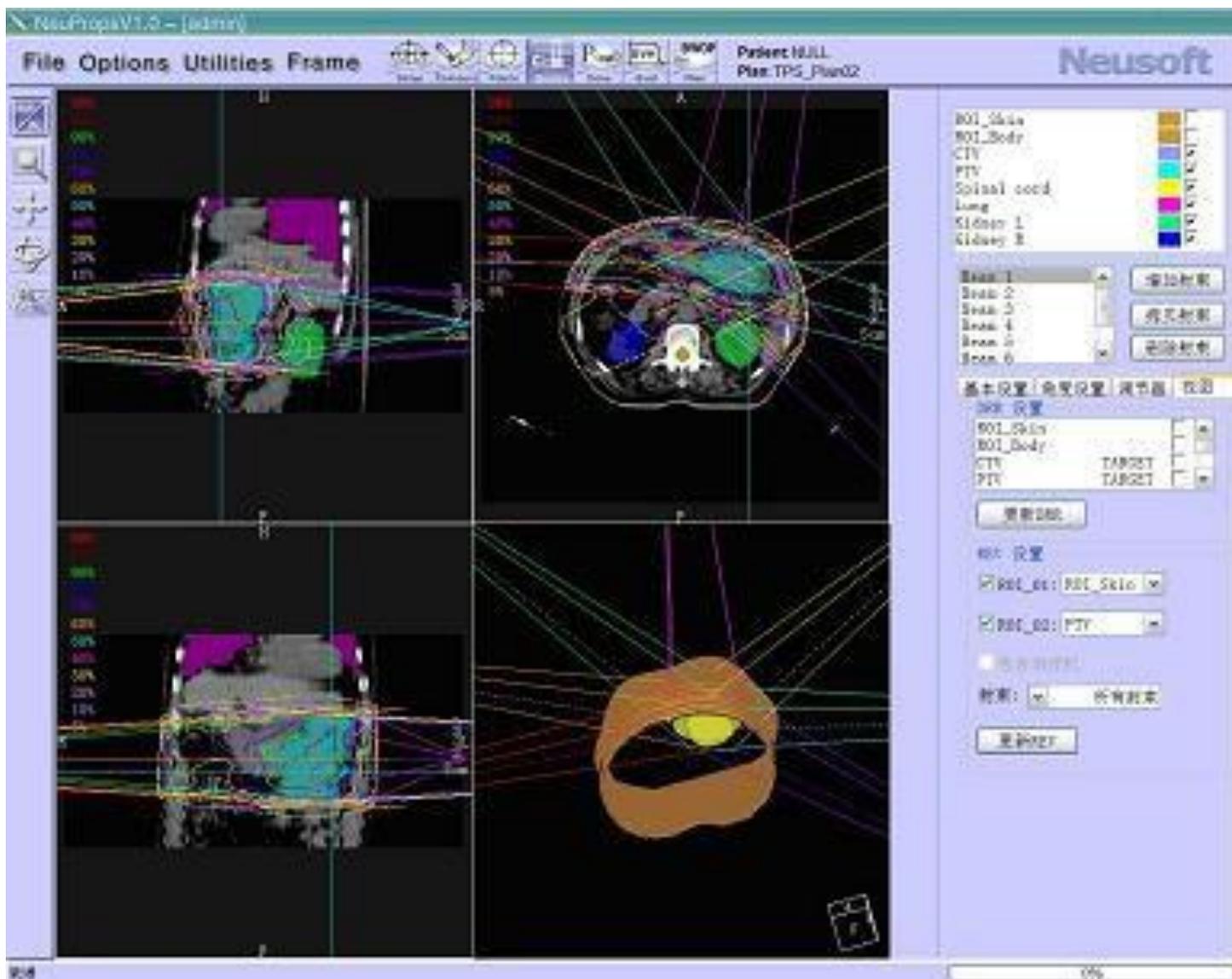
Verificación posición tratamiento IGRT

35 Prostate Mister

040500-0000 666

040500-0000





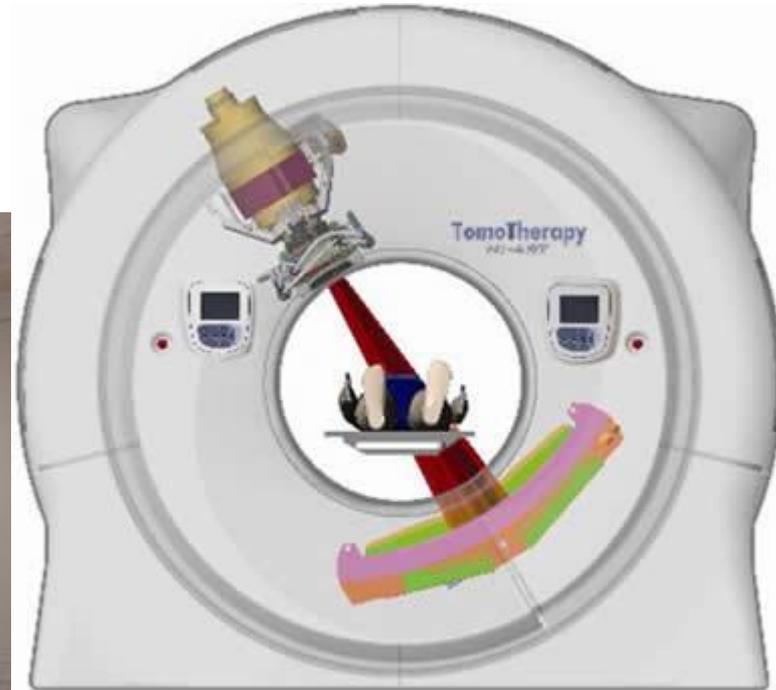
Equipo de Cobaltoterapia



Acelerador Lineal



TOMOTERAPIA



Cyberknife



BIBLIOGRAFÍA

- **KHAN, F.**, The Physics of Radiation Therapy, 3rd edn, Lippincott, Williams and Wilkins Baltimore, MD (2003)
- **Manual del Curso Dosimetría en Radioterapia**, CNEA, Argentina (2003)
- **PODGORSAK, E.B.**, Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, Vienna (2005)
- **MAYLES, P., NAHUM, A., ROSENWALD J.C.**, Handbook Of Radiotherapy Physics, CRC Press, Boca Raton, FL (2007)